



استفاده از منطق فازی و سامانه های اطلاعات مکانی به منظور تعیین مکان مناسب جهت احداث سد زیرزمینی

سasan محمودی جم^{۱*}، علیرضا وفایی نژاد^۲، سید حسین قریشی نجف آبادی^۲

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آب و سازه های هیدرولیکی دانشگاه شهید بهشتی تهران
۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی تهران

چکیده :

با افزایش تقاضای آب به دلیل افزایش جمعیت، شهرنشینی و توسعه کشاورزی، بدست آوردن منابع آب های زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به طوری که در طول چند دهه اخیر، جامعه علمی بین المللی علاقه زیادی به این موضوع نشان داده است و در نتیجه، بسیاری از دانشمندان، از تکنیک های سنجش از دور (RS) و سامانه اطلاعات مکانی (GIS) برای اکتشاف آب های زیرزمینی استفاده کرده اند. همچنین به دلیل نیاز روز افزون به آب و عدم دسترسی به منابع تامین کننده آن، حفظ و استفاده از منابع زیرزمینی به نظر می رسد که مناطقی که دارای آب زیرزمینی و بستر مناسب هستند، احداث سدهای زیرزمینی می تواند یکی از گزینه های مطلوب باشد. در این مقاله مکانیابی سد زیرزمینی منطقه مهران مورد بررسی قرار گرفته است. نقشه نهایی با استفاده از روش گذاری فازی هر یک از پارامترهای کاربری اراضی، سنگ شناسی، ارتفاع، شب، چگالی خطواره، چگالی زهکشی و عمق آب زیرزمینی و با استفاده از RS و GIS و در بازه بین اعداد صفر و یک حاصل شد. نقشه نهایی نشان داد که ۰.۱۹٪ منطقه دارای پتانسیل کم ، ۰.۵۹٪ منطقه دارای پتانسیل متوسط، و ۰.۲۲٪ منطقه دارای پتانسیل زیاد برای ساخت سد زیرزمینی هستند.

واژه های کلیدی : مکانیابی، RS، GIS، منطقه مهران، منطق فازی

۱- مقدمه

یکی از مسائل مهم و قابل توجه در سراسر دنیا حفظ و نگهداری از منابع آب است. کشور ایران از جمله کشورهایی است که همواره با پدیده‌ی خشکسالی و کم آبی مواجه می‌باشد به طوری که بحران آب و خاک نزدیک به ۹۰ درصد پهنه‌ی ایران را تهدید می‌کند. با توجه به بحرانی بودن وضعیت آب در کشور استفاده از آبهای سطحی و سیلاب‌ها و همچنین بکارگیری انواع تکنیک‌های موجود در این زمینه، یک امر حیاتی و اجتناب ناپذیر است.

با افزایش تقاضای آب به دلیل افزایش جمعیت، شهرنشینی و توسعه کشاورزی، بدست آوردن منابع آبهای زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بکارگیری توام تکنیک‌های^۱ RS و GIS^۲ با نقشه‌های حوزه‌ای زمین، به خوبی به عنوان تکنیکی قادرمند برای نقشه‌برداری زیرزمینی و اکتشاف، به ویژه در مناطق خشک شناخته شده است.

در طول چند دهه اخیر، جامعه علمی بین المللی علاقه زیادی به این موضوع نشان داده است و در نتیجه، بسیاری از دانشمندان، از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS برای اکتشاف آب‌های زیرزمینی استفاده کرده‌اند. اطلاعات سنجش از دور (RS) با استخراج و تجزیه و تحلیل ساختارهای زمین‌شناسی، مورفولوژی سطح و ویژگی‌های آبی حوزه، برای ارزیابی کیفی منابع آبهای زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱].

نقشه‌برداری^۳ تغذیه آب‌های زیرزمینی بستگی به چندین متغیر گوناگون و همچنین نیاز به یک دستکاری سازگار محاسباتی از اطلاعات جغرافیایی در مقیاس‌های مختلف فضایی دارد. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) یک سیستم نرم افزاری است که به طور گسترده برای ذخیره سازی، مدیریت، تجزیه و تحلیل و نمایش بصری اطلاعات جغرافیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲].

GIS یک ابزار قادرمند تجزیه و تحلیل مکانی است و همچنین یک سکو^۴ برای یکپارچه‌سازی لایه‌های مختلف اطلاعات ارائه و اجازه دستکاری اطلاعات مکانی به روشهای مختلف را می‌دهد. با توجه به این، حتی اگر دلیل دیگری جز تامین دسترسی به داده‌های ورودی نیاز و توانایی تحلیل بصری نتایج مدل‌سازی وجود نداشته باشد، GIS برای تحلیل‌های مکانیابی و مدل‌سازی بسیار با ارزش است [۳].

همچنین با توجه به اینکه زمان وقوع بارش و جریانات سطحی در اکثر مناطق کشور، با زمان نیاز آبی بخش کشاورزی تطابق ندارد و اغلب این مناطق از نظر بهره‌برداری و توسعه منابع آب زیرزمینی در گروه مناطق ممنوعه بحرانی قرار دارند، لذا مهار نمودن سیلاب‌ها و جریانات زیرسطحی در مناطق مذکور دارای اهمیت زیادی می‌باشد. به دلیل نیاز روز افزون به آب و عدم دسترسی به منابع تامین‌کننده آن، حفظ و استفاده از منابع زیرزمینی به‌نظر می‌رسد که مناطقی که دارای آب زیرزمینی و بستر مناسب هستند، احداث سدهای زیرزمینی می‌تواند یکی از گزینه‌های مطلوب باشد [۴].

۲- مواد و روش‌ها

به منظور بررسی معیارهای گوناگون برای مکانیابی از بین فاکتورهای موجود، روش‌های زیادی وجود دارد. در تحقیق حاضر، برای مکانیابی سد زیرزمینی و تلفیق و یکپارچه‌سازی لایه و نقشه‌های مکانی، از منطق فازی و روش همپوشانی فازی استفاده شده است. در منطق فازی، هر یک از اعضای مجموعه، یک مقیاس بین عدد صفر (غیر عضو) تا عدد یک

¹ Remote sensing

² Geographic Information Systems

³ Mapping

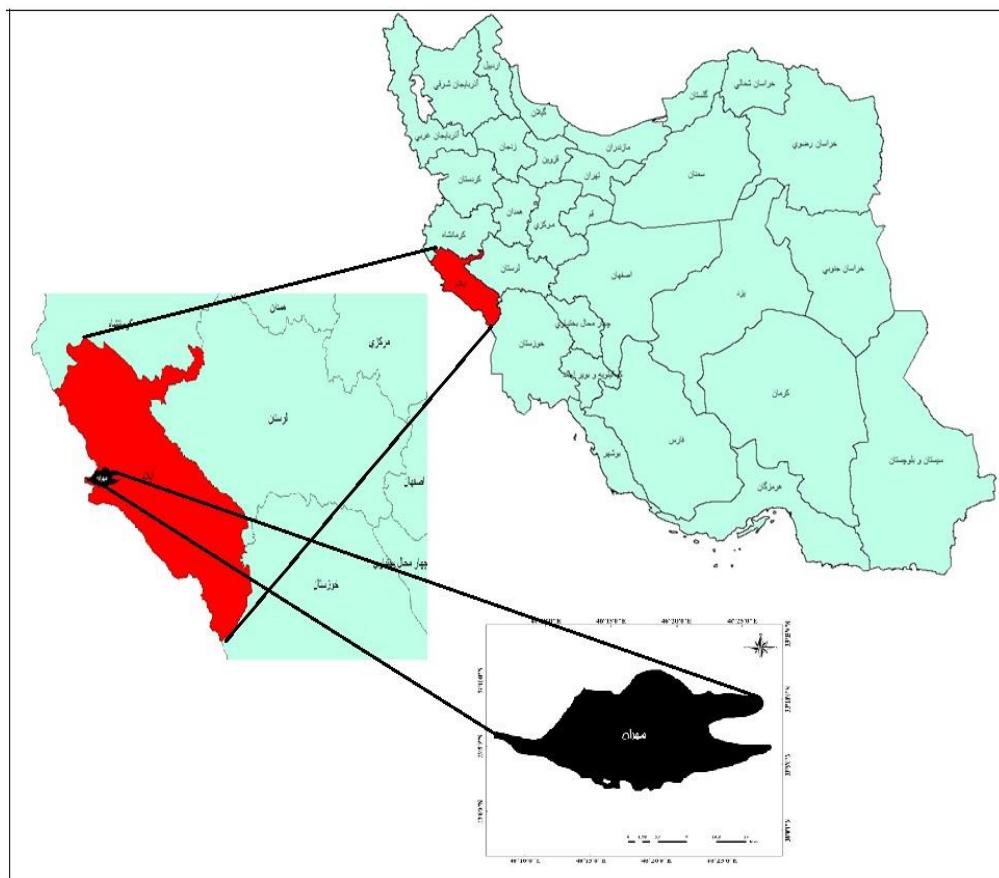
⁴ Platform

(عضو کامل) را به خود اختصاص می دهد. یا به عبارت بهتر، به هر عضو مجموعه، یک عدد بین صفر و یک، تعلق می گیرد که عدد یک بیانگر بهترین حالت، و عدد صفر بیانگر بدترین حالت در راستای رسیدن به نتیجه مطلوب می باشد.

۱-۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مهران در قسمت غربی ایران، بین $2^{\circ} 33^{\prime} 0^{\prime\prime}$ تا $2^{\circ} 33^{\prime} 8^{\prime\prime}$ پهنهای شمالی و $46^{\circ} 0^{\prime} 3^{\prime\prime}$ تا $46^{\circ} 2^{\prime} 23^{\prime\prime}$ درازای شرقی قرار دارد (شکل ۱). وسعت آن حدود ۲۲۶ کیلومتر مربع را پوشش داده است. ارتفاع این منطقه نسبت به سطح دریا، از ۹۱ متر تا ۲۷۱ متر متغیر است و میانگین آن برابر 105 متر می باشد. شرایط آب و هوایی این منطقه به صورت نیمه خشک است و طیف وسیعی از منطقه با این شرایط تعریف شده است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۲).

زمین شناسی منطقه مورد در پهنه ساختاری زاگرس واقع است. همچنین آبخوان منطقه مهران توسط نفوذ بارش و جریان های نشتی به سیستم آب های زیرزمینی و قنات ها، شارژ می شود. بهره برداری از منابع آب زیرزمینی در این منطقه، شامل عمیق، نیمه عمیق و چشممه است. بدیهی است که جهت جریان آب زیرزمینی به طور کلی از شرق آبخوان به طرف غرب آن و شیب عمومی توپوگرافی از شرق به غرب است. ارزیابی آب های زیرزمینی این منطقه به جهت استفاده از آن برای آب آشامیدنی مورد نیاز و هچنین آب مورد نیاز برای تجهیزات مورد استفاده برای خروج آب زیرزمینی به منظور آبیاری، بسیار مهم است. چرا که زندگی مردم در این منطقه به کشاورزی دیم و زراعت آبیاری بسیار وابسته است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (مهران) با توجه به نقشه ایران

۲-۲-۱- داده‌های مورد استفاده

۲-۲-۱- عمق آب زیرزمینی

عمق آب زیرزمینی، از سطح زمین تا تراز سطح آب زیرزمینی تعريف شده و تعیین کننده هزینه مصرف آب و برداشت آن است. به طور کلی، هر چه سطح آب عمیق‌تر باشد، هزینه استخراج آب زیرزمینی بیشتر است و نیز برای احداث سد زیرزمینی مناسب نمی‌باشد. بر این اساس طبق مدل فازی وزن مناسب اعمال شد. در مناطقی که به عدد ۱ نزدیک‌تر هستند، سطح آب بالاتر است و راحت‌تر می‌توان آب را استخراج کرد و در مناطقی که به صفر نزدیک‌تر هستند، سطح آب بسیار پایین و استخراج آب بسیار مشکل است (شکل (۲)).

۲-۲-۲- شبیب

به طور کلی، نقش شبیب در توانایی ماندن آب به اندازه کافی بر روی سطح زمین است تا بتواند در زمین نفوذ کند و معمولاً شبیه‌های تند نشانگر سرعت بالای آب است. بنابراین مشاهده شده است که در حوزه‌های با شبیب زیاد، تغذیه آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. در مقابل، شبیه‌های نسبتاً ملایم، پتانسیل نفوذ آب را به داخل زمین افزایش می‌دهد. بر این اساس مناطق با شبیب کم، که احتمال پتانسیل آب زیرزمینی آن بیشتر است و در نتیجه برای احداث سد زیرزمینی مناسب می‌باشد به ۱ و مناطق با شبیب زیاد به صفر نزدیک هستند (شکل (۲ب)).

۲-۲-۳- ارتفاع

طبقات ارتفاع از دیگر فاکتورهای موثر در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی می‌باشد که نقش مهمی در ضرب رواناب و نفوذپذیری و میزان آن‌ها دارد. این فاکتور در گرادیان هیدرولیکی و جهت حرکت آب زیرزمینی و محل تشکیل آبخوان نقش موثر دارد. به عبارتی در ارتفاع زیاد نفوذ آب به درون زمین کمتر و رواناب بیشتر است. بنابراین افزایش ارتفاع، تاثیر معکوس بر پتانسیل یابی آب‌های زیرزمینی دارد که مناسب برای احداث سد زیرزمینی نیست. بر این اساس مناطق با ارتفاع کم، به ۱ و مناطق با شبیب زیاد به صفر نزدیک هستند (شکل ۲پ).

۲-۲-۴- سنگ‌شناسی

این عامل یکی از عوامل مهم در پتانسیل آب زیرزمینی و نفوذ آب به داخل زمین می‌باشد. هرچه نفوذ آب به درون زمینی بیشتر باشد، احتمال وجود آب زیرزمینی بیشتر و در نتیجه برای احداث سد زیرزمینی مناسب‌تر است. با استفاده از نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰ زمین‌شناسی، نقشه مورد نیاز استخراج و بر اساس منطق فازی در ۴ کلاس مختلف، از نظر میزان نفوذپذیری، با اعداد ۰، ۰.۳۳، ۰.۶۷ و ۱، با توجه به منطق فازی کلاس‌بندی شد (شکل (۲)).

۲-۲-۵- تراکم زهکشی

تراکم زهکشی برابر است با طول کل رودخانه‌ها در حوزه زهکشی، تقسیم بر مساحت حوزه زهکشی. مطالعات نشانگر این است که نوع شبکه زهکشی هر منطقه توسط لیتلوزی واحدهای زمین‌شناسی، توپوگرافی و ساختارهای تکتونیکی و زمین‌شناسی منطقه کنترل می‌شود. بر این اساس است که آبراهه‌ها نقش انتقال رواناب را داشته و با نفوذپذیری زمین رابطه عکس دارند. هرچه تراکم زهکشی بیشتر باشد، احتمال وجود آب زیرزمینی کمتر و برای احداث سد زیرزمینی نامناسب‌تر است. بر این اساس طبق منطق فازی مناطق با تراکم بالا، به صفر و مناطق با تراکم پایین به ۱ نزدیک هستند (شکل (۲ث)).

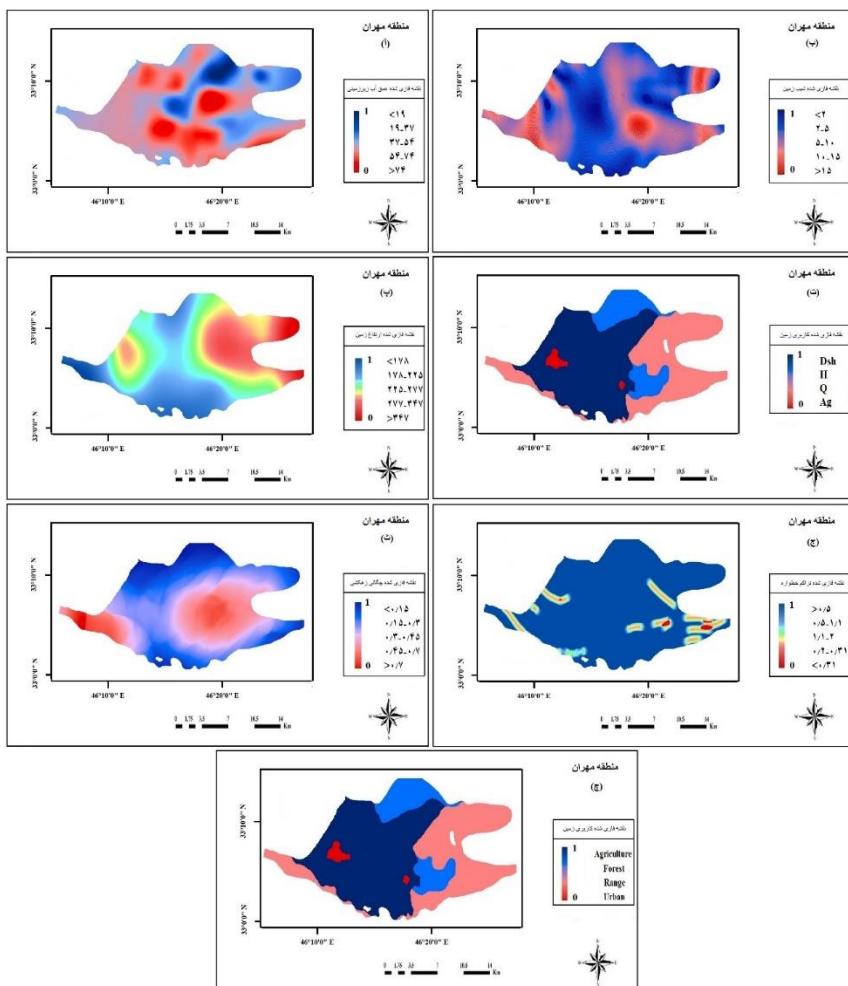
۲-۲-۶- تراکم خطواره (گسله‌ها)

خطواره یکی از ویژگی‌های خطی در یک چشم‌انداز بزرگ است که یک ساختار زیرین زمین‌شناسی مانند گسل را بیان می‌کند. عوامل ساختمنانی و تکتونیکی نظیر درزه‌ها و گسل‌ها به عنوان نقاط ضعف واحدهای زمین‌شناسی به

شمار می روند که اصطلاحا به آنها خطواره می گویند و راهی برای عبور آسان آب و محلی برای تجمع آب به صورت مخازن زیرزمینی می باشدند. تراکم شکستگی معیاری برای خرد شدگی سازند می باشد. افزایش تراکم درزه و گسلها به طور کلی نقشی مخرب برای احداث سد زیرزمینی زیرزمینی دارد. بنابراین مناطق با تراکم پایین، به ۱ و مناطق با تراکم بالا به صفر نزدیک هستند (شکل(۲)).

۷-۲-۲- کاربری اراضی

کاربری اراضی در مسئله پتانسیل سنگی آب زیرزمینی به عنوان یک پارامتر تعیین کننده و موثر عمل می کند با این توضیح که حتی با فراهم بودن تمامی شرایط نظری عمق آب زیرزمینی مناسب، نرخ نفوذ بالا، شیب مناسب، وجود رواناب کافی و... در صورتی که محل مورد نظر به لحاظ کاربری اراضی مناسب نباشد می بایست از محل های پیشنهادی جهت احداث سد زیرزمینی حذف گردد. با استفاده از نقشه های کاربری اراضی، نقشه مورد نیاز استخراج و در ۴ کلاس مختلف، با توجه به منطق فازی با اعداد ۰، ۰.۳۳، ۰.۶۷ و ۱، کلاس بندی شد (شکل(۲)).



شکل ۲: نقشه های مورد استفاده برای مکانیابی سد زیرزمینی

جدول ۳: کلاس‌بندی و وزن عوامل مورد استفاده برای نقشه مکانیابی سد زیرزمینی با استفاده از منطق فازی

امتیازدهی		کلاس‌بندی	عوامل
۱	Agriculture	خیلی زیاد	کاربری اراضی
۰,۶۶	Forest	زیاد	
۰,۳۳	Range	متوسط	
.	Urban	پایین	
۱	Dsh	خیلی زیاد	سنگشناسی
۰,۶۶	II	زیاد	
۰,۳۳	Q	متوسط	
.	Ag	پایین	
۱	<۱۷۸	خیلی زیاد	ارتفاع
۰,۶۶	۱۷۸-۲۲۵	زیاد	
۰,۳۳	۲۲۵-۲۷۷	متوسط	
.	۲۷۷-۳۴۷	پایین	
۱	>۳۴۷	خیلی پایین	شیب
۰,۶۶	<۲	خیلی زیاد	
۰,۳۳	۲-۵	زیاد	
.	۵-۱۰	متوسط	
۰,۳۳	۱۰-۱۵	پایین	چگالی خطواره
.	>۱۵	خیلی پایین	
۱	<۰,۳۱	خیلی زیاد	
۰,۳۱-۰,۳۱	۰,۳۱-۰,۳۱	زیاد	
.	۰,۳۱-۰,۳۲	متوسط	چگالی زهکشی
۰,۳۲-۰,۳۳	۰,۳۲-۰,۳۳	پایین	
۰,۳۳-۰,۴۵	۰,۴۵-۰,۴۵	خیلی پایین	عمق آب
۰,۴۵-۰,۷	۰,۷-۱,۰	خیلی پایین	
.	۱,۰-۱,۲	خیلی پایین	زیرزمینی
۱	<۱۹	خیلی زیاد	
۰,۶۶	۱۹-۳۷	زیاد	
۰,۳۳	۳۷-۵۴	متوسط	
.	۵۴-۷۴	پایین	
۰,۳۳	>۷۴	خیلی پایین	زیرزمینی

۳-۲- تلفیق لایه‌ها و استخراج نقشه نهایی

پس از آماده‌سازی و جمع‌آوری لایه‌ها و داده‌های مورد نیاز، همانطور که در قسمت قبل نیز اشاره شد، برای هر یک از لایه‌ها بر طبق منطق فازی وزن مناسب اعمال شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و استفاده از همپوشانی فازی (Fuzzy overlay)، همپوشانی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی جهت تهیه نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه انجام گرفت. نرم‌افزار Arc GIS این قابلیت را دارد که بر روی داده‌های ورودی با خصوصیات مختلف تحلیل‌های ویژه‌ای نظیر اشتراک^۱ فازی، اجتماع^۲ فازی، ضرب جبری فازی^۳، جمع جبری^۴ فازی و گاما فازی^۵ را انجام داده و خروجی‌های مناسب از آن را تهیه و نمایش دهد [۴]

¹ And

² Or

³ Product

⁴ Sum

⁵ Fuzzy Gama

Fuzzy AND: این عملگر، عملگر اشتراک مجموعه‌هاست و به این صورت عمل می‌کند که حداقل درجه عضویت اعضا را استراج می‌کند، و این بدان معناست که در بین کلیه لایه‌های اطلاعاتی حداقل ارزش (وزن) هر پیکسل را استخراج کرده و در نقشه نهایی منظور می‌کند. به عبارت دیگر اشتراک در مجموعه‌های فازی به معنی حداقل درجه عضویت در هر یک از مجموعه‌هاست. به همین دلیل این عملگر نیز حساسیت بالایی در مکانیابی دارد و از دقت زیادی برخوردار نیست.

$$\mu_{\text{combination}} = \text{MIN}(\mu_A, \mu_B, \dots) \quad \text{رابطه (1)}$$

Fuzzy OR: این عملگر، عملگر اجتماع مجموعه‌هاست. و به این صورت عمل می‌کند که حداکثر درجه عضویت اعضا را استراج می‌کند و از دقت بالایی در مکانیابی برخوردار نیست.

$$M_{\text{combination}} = \text{MAX}(\mu_A, \mu_B, \dots) \quad \text{رابطه (2)}$$

Fuzzy Algebraic Product (ضرب جبری فازی): در این عملگر تمامی درجات عضویت لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند و در نقشه‌های خروجی اعداد کوچکتر شده و به سمت صفر میل می‌کنند. در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرند. به همین دلیل این اپراتور نیز حساسیت بالایی در مکانیابی اعمال می‌کند.

$$\mu_{\text{combination}} = \prod \mu_i \quad \text{رابطه (3)}$$

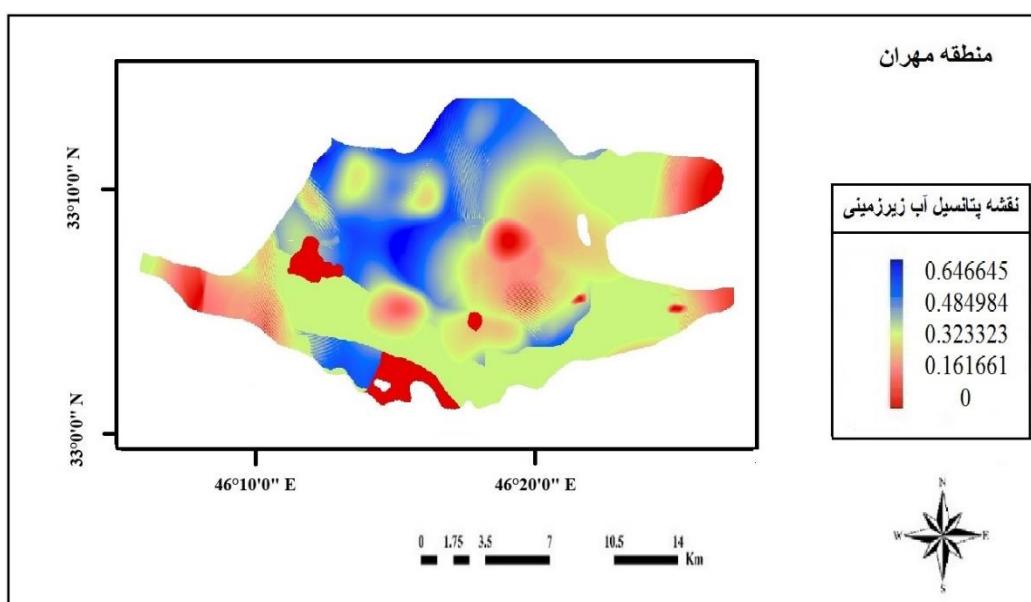
Fuzzy Algebraic Sum (جمع جبری فازی): در این اپراتور متمم ضرب مجموعه‌ها محاسبه می‌شود. به همین دلیل در نقشه خروجی برخلاف عملگر ضرب جبری فازی، ارزش پیکسل به سمت یک میل می‌کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرند.

$$\mu_{\text{combination}} = 1 - \prod(1 - \mu_i) \quad \text{رابطه (4)}$$

Fuzzy Gama: برای تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر فازی ضرب و حساسیت خیلی کم عملگر فازی جمع، عملگر دیگری به نام گاما فازی معرفی شده است که حدفاصل ضرب و جمع فازی است. اگر در فرمول عملگر گاما، λ برابر ۱ باشد، خروجی، همان نقشه‌های حاصل از Fuzzy Sum و اگر λ برابر صفر باشد، نقشه خروجی، همان نقشه Fuzzy Product خواهد بود [۵]

$$\mu_{\text{combination}} = (\text{fuzzy algebraic sum} \times \text{fuzzy algebraic product}) 1 - \lambda \quad \text{رابطه (5)}$$

در تحقیق حاضر، برای همپوشانی فازی، به دلیل مرتبط بودن نقشه‌ها و در یک راستا بودن نتایج آن‌ها، از روش Fuzzy And استفاده شد.



شکل ۳: نقشه نهایی مکانیابی سد زیرزمینی منطقه مهران

در این شکل مشاهده می‌شود که به رنگ آبی نزدیکتر هستند از پتانسیل آب زیرزمینی بالاتری برخوردار هستند و هرچه به رنگ قرمز نزدیکتر می‌شویم، از پتانسیل آن‌ها کم می‌شود.

۳- نتیجه‌گیری

در این پژوهه، با استفاده از داده‌های حاصل از RS و GIS، و استفاده از هفت پارامتر (کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، ارتفاع، شب، چگالی خطواره، چگالی زهکشی و عمق آب زیرزمینی) با کلاس‌بندی بر اساس منطق فازی، مکان‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی در منطقه مهران صورت گرفت و نقشه نهایی ایجاد شد. نقشه نهایی نشان داد که ۰.۱۹٪ منطقه دارای پتانسیل کم (امتیاز بین ۰ تا ۰.۲۳)، ۰.۵۹٪ منطقه دارای پتانسیل متوسط (امتیاز ۰.۲۳ تا ۰.۴۲)، ۰.۲۲٪ منطقه دارای پتانسیل زیاد (امتیاز بین ۰.۴۲ تا ۰.۶۵) برای ساخت سد زیرزمینی هستند.

تقدیر و تشکر

لازم است از آقای مهندس مسعود مزروعی، دانشجوی رشته مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه شهید بهشتی تهران، جهت در اختیار قرار دادن سیستم و همکاری در انجام پژوهه تحقیقاتی تقدیر و تشکر به عمل آید.

مراجع

- [1] F. Abdalla, "Mapping of groundwater prospective zones using remote sensing and GIS techniques: A case study from the Central Eastern Desert, Egypt," *Journal of African Earth Sciences*, vol. 70, pp. 8–17, 2012.
- [2] I. Chenini and A. Ben Mammou, "Groundwater recharge study in arid region: An approach using GIS techniques and numerical modeling," *Computers & Geosciences*, vol. 36, no. 6, pp. 801–817, 2010.
- [3] R. L. Church, "Geographical information systems and location science," *Computers & Operations Research*, vol. 29, no. 6, pp. 541–562, 2002.
- [۴] م. خیرخواه زرکش، "استفاده از روش تحلیل سلسله مرتبی در اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی مطالعه موردی: دامنه‌های شمالی کوه‌های کرکس-طنز"، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۹

[۵] م. ورشوساز، "جزوه درسی DTM و تحلیل ساختارها در GIS"، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران، (۱۳۸۲).

[۶] ک. یعقوب‌نژاد اصل، ا. یعقوب‌نژاد اصل، ن. یعقوب‌نژاد اصل، "کاربرد منطق فازی در ارزیابی تناسب زمین برای توسعه کالبدی شهر مطالعه موردي: کلانشهر کرج"، جغرافیا (فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران)، شماره ۳۶، صفحات ۲۴۹-۲۳۱، (۱۳۹۲).